



TITLE:

Autonomous Collision Avoidance by Lane Change Maneuvers using Integrated Chassis Control for Road Vehicles(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

AMRIK, SINGH PHUMAN SINGH

CITATION:

AMRIK, SINGH PHUMAN SINGH. Autonomous Collision Avoidance by Lane Change Maneuvers using Integrated Chassis Control for Road Vehicles. 京都大学, 2019, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21918>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-03-01に公開

様式 VI

博士学位論文調査報告書

論文題目

Autonomous Collision Avoidance by Lane Change Maneuvers
using Integrated Chassis Control for Road Vehicles
(統合シャシー制御される路上走行車両の車線変更による自律衝突回避)

申請者氏名

AMRIK SINGH PHUMAN SINGH

最終学歴

平成 24年 3月
University Teknologi Malaysia for master program 修了
平成 30年 9月
京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻博士後期課程
研究指導認定退学

学識確認

平成 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 (調査委員長)	京都大学大学院情報学研究科 准教授	西原 修
論文調査委員	京都大学大学院情報学研究科 教授	大塚 敏之
論文調査委員	京都大学大学院情報学研究科 教授	加納 学

(続紙 1)

京都大学	博士 (情 報 学)	氏 名	AMRIK SINGH PHUMAN SINGH
論文題目	Autonomous Collision Avoidance by Lane Change Maneuvers using Integrated Chassis Control for Road Vehicles (統合シャシー制御される路上走行車両の車線変更による自律衝突回避)		
(論文内容の要旨)			
<p>道路交通は現代社会の重要な社会基盤であり、自動車事故による負傷や死亡は減少傾向にあるとはいえ、依然として大きな問題となっている。運転支援機能を備えた自動車の研究開発においては、旋回時における自動車の姿勢を安定化させる車両挙動安定化制御などが実用化され、運転者による積極的な衝突回避を補助する効果が認められている。さらに、運転者による障害物の発見が遅れた場合などを想定すると、車両側が危険を検出し、緊急時には自律的な回避動作を行うことが望まれる。このような衝突回避システムの概念は、自動緊急ブレーキなどとして部分的に実用化されてきているところであるが、本研究では、車線変更による自律衝突回避について、理論解析と実現可能性の両面から検討された。具体的な研究成果を次に示す。</p> <p>1. 操舵と制動の協調による車線変更を最適制御問題として定式化するとき、路面摩擦力の制約のもとでの回避距離最短化が一変数方程式に帰着された。これにより、二分法などによるきわめて安定した求解が可能となった。力学変数の無次元化によると、与えられた距離で回避が可能か否か、単一的意思決定ダイアグラムから読み取れる。そこでは、操舵と制動を協調させる車線変更が制動のみによる衝突回避より有効となる範囲などが明確に示される。運動制御則は車両状態フィードバックとして表現されており、回避途上の横風外乱などへの対応が可能である。</p> <p>2. 続いて、初期速度、回避距離などが与えられたとき、同様の車線変更を成功させるために必要な最小の路面摩擦力を求める最適制御問題について検討した。やはり、一変数方程式を導くことにより、安定した求解が可能となった。</p> <p>3. 上述の衝突回避は回避性能を最優先にしており、車体の加加速度を考慮していないが、過大な加加速度は、乗員の不快感や負傷へ繋がるおそれがある。そこで、加加速度の低減に効果があるとされる目標軌道生成手法を応用して、車線変更により衝突回避を実現させる方法について検討を加えた。回避性能への影響を抑えつつ、最大加加速度の低減効果が得られた。</p> <p>4. これらの理論解析の実用性に関しては、ステアバイワイヤによる四輪操舵、四輪独立制駆動力配分など、研究途上にある車両構成、リアルタイム最適化による、操舵系、駆動系への最適目標値設定などの車両運動統合制御、スライディングモード制御による軌道追従制御などの諸仮定の下、多自由度車両モデルによる数値シミュレーションを行い、所定の効果を確認している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

道路交通は現代社会の重要な社会基盤として機能しているが、なかでも自動車の果たす役割が大きい。自家用車においては、初心者、サンデードライバーなどの技量不足、高齢者における運転特性のばらつきなど、運転者の側にも多様な事故原因が潜在している。自動車事故による負傷や死亡は全般に減少傾向にあるとはいえ、医療技術の向上が寄与している面もあり、抜本的な事故低減が要請されている。死亡事故を全般的に捉えると、漫然運転、脇見運転など、内在的あるいは外在的前方不注意が大きな原因となっている。

運転支援機能を備えた自動車の研究開発においては、旋回時における自動車の姿勢を安定化させる車両挙動安定化制御などが実用化され、運転者による積極的な衝突回避を補助する効果が認められている。ここで、重大な事故の原因となりやすいとされている運転者の集中力不足などにより、前方障害物の発見が遅れた場合などを想定すると、車両側が危険を検出し、緊急時には自律的な回避動作を行うことが望まれる。このような衝突回避システムの概念は、自動緊急ブレーキなどとして部分的に実用化されてきているところである。

車両の走行速度が高速になると、制動だけでは衝突が回避できず、次第に被害軽減しかできなく傾向となるが、このときも減速と操舵を組み合わせた車線変更により衝突回避が達成される場合がある。本研究は、このような自律衝突回避について、理論解析と実現可能性の両面から検討を加えたものである。

具体的な研究結果に基づいて、次のように審査を行った。

1. 操舵と制動の協調による車線変更を最適制御問題として定式化するとき、路面摩擦力の制約のもとでの回避距離最短化を一変数方程式に帰着させることで、きわめて安定した求解を可能としている。後述する無次元化の効果もあり、質点モデルの仮定のもとで、二点境界値問題の正確な求解を常に可能としており、得られる数値解にも、関連する研究のリファレンスとしての価値が期待できる。
2. 力学変数の無次元化により、与えられた距離で回避が可能か否か、また、最適な回避方策は何れかなど、単一的意思決定ダイアグラムによる表現を実現している。そこでは、操舵と制動を協調させる車線変更が、制動のみによる衝突回避より有効となる範囲などが明確に示されている。運動制御則は車両状態フィードバックとして表現されており、回避途上の横風外乱などへの対応が可能である。図中で、領域の境界は最適制御問題の正確な数値解を用いて描かれており、十分な普遍性を具備した結果となっている。
3. 続いて、初期速度、回避距離などが与えられたとき、同様の車線変更を成功させるために必要な最小の路面摩擦力を求める最適制御問題について検討している。やはり、一変数方程式を導くことにより、安定した求解が実現している。

路面摩擦力最小化と回避距離最短化とは、一種の双対関係にあり、同一の数値解は、回避距離最短化の解法を単純に応用して導くこともできるが、解法としての枠組みが二重ループとなり、計算速度がかなり低下する。従って、本項で記した解法には十分な新規性、有効性が認められる。

4. 上述の衝突回避は回避性能を最優先にしており、車体の加加速度を考慮していないが、過大な加加速度は、乗員の不快感や負傷へ繋がるおそれがある。そこで、加加速度の低減に効果があるとされる目標軌道生成手法を応用して、車線変更により衝突回避を実現させる方法について検討を加えた。回避性能への影響を抑えつつ、最大加加速度の低減効果が確認されており、安全性、快適性の観点から価値が認められる。
5. これらの理論解析の実用性に関しては、ステアバイワイヤによる四輪操舵、四輪独立制駆動力配分など、研究途上にある車両構成、リアルタイム最適化による、操舵系、駆動系への最適目標値設定などの車両運動統合制御、スライディングモード制御による軌道追従制御などの諸仮定の下、多自由度車両モデルによる数値シミュレーションを実行し、所定の効果を確認している。一連の検証の結果、上述のような高度なシャシー制御が仮に実装されると、車両の質点モデルと路面摩擦力の最大値から推定されるマニューバが概ね実行可能と結論づけられており、質点モデルによる衝突回避問題の取り扱いについても妥当性が検証されたと考えられる。
6. 本研究は、運転支援機能に関する研究であり、自動運転車は対象としていない。ただし、衝突回避動作の途上においては、操舵と加減速が車両側により自律制御されると仮定している。自動運転車両が実用化された場合、障害物との衝突が危惧される事態が生じた場合に備えて、同様の衝突回避機能が不可欠になると予想される。

このように、本論文は、操舵と制動の協調による自律衝突回避について新たな知見を与えるとともに、高度な車両運動制御技術の実装により期待される性能限界の検証例ともなっており、博士（情報学）の学位に値するものと認められる。

平成31年2月28日、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。